

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-215998  
 (43)Date of publication of application : 04.08.2000

(51)Int.Cl. H05G 2/00

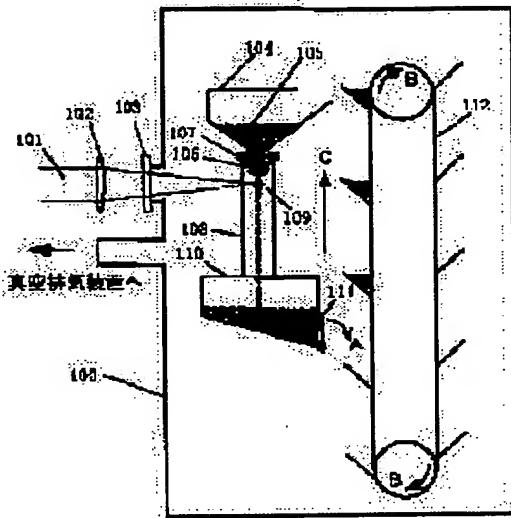
(21)Application number : 11-016807 (71)Applicant : NIKON CORP  
 (22)Date of filing : 26.01.1999 (72)Inventor : KONDO HIROYUKI

## (54) X-RAY GENERATOR AND X-RAY DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an LPX and an X-ray device with the LPX for continuously supplying target matter without machining the target matter into a tape state, a wire state, or a thin film state (on a tape substrate), or even the target matter impossible to machine like above.

**SOLUTION:** In this X-ray generator, pulse laser light 101 is condensed to target matter 105 within a decompressed vessel 100 to generate plasma 109 from the target matter 105, to make use of X-rays radiated from the plasma 109, where the target matter 105 has a fine particle-like form or a liquid-like form, and the pulse laser light 101 is condensed to the target matter 105 by free fall of the target matter 105 from an opening 106.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS****[Claim(s)]**

[Claim 1] The X-ray generator which presupposes that it is liquid, is made to carry out free fall of the target matter from opening, and is characterized for the gestalt of said target matter by the shape of a particle, and condensing said pulse laser light to the target matter under fall in the X-ray generator using the X-ray which condenses pulse laser light to the target matter in the decompressed container, plasma-izes this target matter, and is radiated from this plasma.

[Claim 2] The X-ray generator characterized by condensing pulse laser light to the target matter in the decompressed container, and condensing said pulse laser light for the gestalt of said target matter in the X-ray generator using the X-ray which plasma-izes this target matter and is radiated from this plasma to the shape of a particle, and the target matter which presupposed that it is liquid, and the target matter was made to blow off from opening according to a centrifugal force, and blew off.

[Claim 3] Said target matter is an X-ray generator according to claim 1 or 2 characterized by mixing two or more kinds of matter chosen from either the particle-like matter or the liquid matter and both.

[Claim 4] The X-ray generator according to claim 1 to 3 which collects the target matter made to fall or blow off from said opening, and is characterized by carrying out a reuse.

[Claim 5] The X-ray plant equipped with the X-ray generator according to claim 1 to 4.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

[Field of the Invention] This invention is used as an X line source of X-ray plants (an X-ray microscope, an X-rays spectroscopic analyzer, X-ray aligner, etc.), and relates to a suitable X-ray generator and the X-ray plant equipped with this X-ray generator.

**[0002]**

[Description of the Prior Art] Though it is high brightness, since the X-ray generator (a laser plasma X line source, LPX) using the X-ray which condenses pulse laser light to the target matter in the decompressed container, plasma-izes this target matter, and is radiated from this plasma is small, it attracts attention as the light source for the X-ray plants (for example, an X-ray microscope, an X-rays spectroscopic analyzer, etc.) of laboratory size.

[0003] Moreover, since LPX changes the configuration and X-ray wavelength of an X-ray spectrum with the target matter, the use according to an application is possible for it. For example, if a light element like carbon or oxygen as target matter is used, since the discrete Rhine spectrum will be obtained, it is suitable for the light source of the photoelectron analysis apparatus as which the monochromaticity of an X-ray is required.

[0004] Moreover, if a heavy element like gold or a tungsten as target matter is used, since the broadcloth spectrum covering the large wavelength range will be obtained, it is suitable for the light source of the reflection factor measuring device which measures a reflection factor, carrying out a spectrum with a spectroscope and scanning wavelength. However, in order to gather the operation effectiveness of equipment in putting LPX in practical use, it is indispensable to enable it to operate LPX over long duration. Therefore, the target matter must be able to be supplied continuously for a long time.

[0005] By the way, since the target member constituted with the target matter is dug when laser is irradiated in LPX at the target matter, if laser is irradiated to the same location of a target member many times, laser will penetrate a target member. Then, one shot or after several shots irradiate, it is necessary for laser to move for example, a target member to a target member, and it is necessary to irradiate laser in another location of a target member at it.

[0006] Therefore, in the conventional X-ray generator, it carries out forming the target matter and considering as a target member on the \*\* tape-like substrate which makes \*\* target member (target matter) the shape of a tape, making \*\* target member (target matter) into the shape of a wire, etc., and can be made to carry out long duration use of the target member.

**[0007]**

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, even if it makes a target member into the shape of the shape of a tape, or a wire, the die length is limited and any need to exchange a target member. And it is necessary to suspend operation of the X-ray plant which makes LPX and LPX the light source in the case of target member exchange, therefore there is a problem that LPX and the operation effectiveness of an X-ray plant fall.

[0008] Moreover, it can be necessary to process the target matter which can carry out continuous duty the shape of a tape, the shape of a wire, and in the shape of a thin film (on a tape substrate), and it has the problem that the target matter which can be used is restricted. By the way, in an X-ray aligner etc., when improving a throughput, the higher possible one of the repeat frequency of LPX is good, and that whose repeat frequency is about several kHz is needed. And in this case, since several m / sec extent is required for the speed of supply of the target member of the shape of the shape of a tape, and a wire, it has the problem that the supply approach becomes difficult.

[0009] Furthermore, in LPX, the scattering particle emitted from the target matter the plasma and near the plasma poses a problem. The gestalt of a scattering particle is various from the thing of the very small light particle of the shape of the shape of the shape of ion, and an atom, and a cluster to the liquid drop-like thing which attains to the diameter of several micrometers – about 10 micrometers of numbers and by which melting was carried out. And if a liquid drop-like heavy and large scattering particle collides with an X-ray optics component, it will damage an optical element. Moreover, on an X-ray optics component, a small atom-like scattering particle will carry out adhesion deposition, and will reduce the engine performance (a reflection factor and permeability) gradually.

[0010] Therefore, it has been a big technical problem to offer LPX with little scattering particle weight. Then, it is high-speed rotation (40,000 revolution per minute) about a disc-like target member with a diameter of 10cm

as one of the approaches of solving this technical problem. By carrying out the rate of the tangential direction of a disk about 200 m/sec, and irradiating laser light near [ the ] the periphery The direction of the scattering particle emitted from near the laser radiation point with the inertial force of a disk The attempt centralized on a hand of cut is performed (). [ L.] A.Shmaenok et al., Proceedings of the Conf.On Applications of Laser Plasma Radiation II, SPIE 2523, and 12-14 July 1995.

[0011] However, by this approach, since a limitation was in the magnitude of a disk, targets needed to be exchanged, after carrying out laser radiation of the predetermined shots per hour. And in the case of target exchange, there is the need (namely, the need of interrupting operation of the X-ray plant which makes LPX and LPX the light source) of breaking the vacuum of a vacuum housing, and there is a problem that LPX and the operation effectiveness of an X-ray plant fall remarkably.

[0012] Even if this invention is the target matter which cannot perform said processing, without being made in view of the problem of this conventional technique, and processing the target matter the shape of the shape of a tape, and a wire, and in the shape of a thin film (on a tape substrate), it aims at offering LPX which can be supplied continuously, and the X-ray plant equipped with this LPX. Furthermore, this invention aims at offering an X-ray plant with the high operation effectiveness equipped with LPX with little scattering particle weight, LPX from which the X-ray-spectrum distribution suitable for the purpose is acquired, and such LPX.

[0013]

[Means for Solving the Problem] In the X-ray generator using the X-ray which condenses pulse laser light to the target matter in the decompressed container, plasma-izes this target matter, and is radiated from this plasma therefore, this invention — the first — “— The X-ray generator (claim 1) which presupposes that it is liquid, is made to carry out free fall of the target matter from opening, and is characterized for the gestalt of said target matter by the shape of a particle and condensing said pulse laser light to the target matter under fall” is offered.

[0014] In the X-ray generator using the X-ray which condenses pulse laser light to the target matter in the decompressed container, plasma-izes this target matter, and is radiated from this plasma moreover, this invention — the second — “— The X-ray generator (claim 2) characterized by condensing said pulse laser light for the gestalt of said target matter to the shape of a particle and the target matter which presupposed that it is liquid, and the target matter was made to blow off from opening according to a centrifugal force, and blew off” is offered.

[0015] Moreover, this invention provides the third with “the X-ray generator (claim 3) according to claim 1 or 2 characterized by mixing two or more kinds of matter which chose said target matter from either the particle-like matter or the liquid matter and both.” Moreover, this invention provides the fourth with “the X-ray generator (claim 4) according to claim 1 to 3 which collects the target matter made to fall or blow off from said opening, and is characterized by carrying out a reuse.”

[0016] Moreover, this invention provides the fifth with “the X-ray plant (claim 5) equipped with the X-ray generator according to claim 1 to 4.”

[0017]

[The mode of implementation of invention] the shape of a particle which is the gestalt in which almost all matter can take the gestalt of the target matter in the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4) using the X-ray which condenses pulse laser light to the target matter in the decompressed container, plasma-izes this target matter, and is radiated from this plasma — or it is supposed that it is liquid.

[0018] Namely, in almost all cases, it is possible to also make into the shape of the shape of a particle and a liquid the matter which is not processible the shape of the shape of a tape and a wire and in the shape of a thin film (on a tape substrate). For example, although it is difficult to process ceramics, such as boron nitride (BN) and B4 C and SiC, in the shape of a tape, these particles can be formed easily. And since it is not processible in the shape of a tape etc., with the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), the matter which was not able to be used as target matter of LPX also becomes usable by making it the shape of the shape of a particle, and a liquid, and can use the target matter of varieties conventionally.

[0019] Therefore, according to the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), it is possible to generate the X-ray of various wavelength or a spectrum configuration, and since the selection width of face of wavelength or a spectrum configuration spreads conventionally, the X-ray-spectrum distribution suitable for the purpose is acquired. Moreover, in the X-ray generator applied to the shape of a particle, and this invention (claims 1-4) made liquid in the target matter, continuation supply of the target matter can be easily carried out by the easy configuration.

[0020] That is, in the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), even if it is the target matter which cannot perform said processing, without processing the target matter the shape of the shape of a tape, and a wire, and in the shape of a thin film (on a tape substrate), it can supply easily and continuously by the easy configuration. For example, in the X-ray generator concerning this invention, by carrying out free fall of the target matter of the shape of the shape of a particle, and a liquid from opening, continuation supply of the target matter is carried out, and pulse laser light is condensed to the target matter under fall.

[0021] Drawing 3 is quoted and this operation gestalt is explained concretely. In addition, although the gestalt of the target matter is a particle-like in drawing 3, it is the same even if liquid. a funnel — the particle-like target matter 303 is accumulated into target \*\*\*\*\* 301 of a \*\*, and the nozzle 302 is attached in the bottom of it. Free fall of the particle 303 in target \*\*\*\*\* 301 is carried out like a sandglass from a nozzle 302 with gravity.

[0022] The rate v of the particle which fell from opening of a nozzle at this time sets gravitational acceleration

to g, and if elapsed time after coming out of the rate when coming out of opening of a nozzle from v0 and a nozzle orifice is set to t, it will serve as  $v=gt+v_0$ . And the plasma 305 is made to generate and an X-ray is made to radiate by irradiating the laser light 304 at target matter 303a of the shape of a particle in the middle of fall. Since target matter 303a is dropped in a vacuum, it is in the middle of fall, and a particle group can spread, and cannot go (even if it separates from a nozzle 302, the number density of the target matter does not decrease), and a laser radiation location can be separated from a nozzle 302.

[0023] That is, the high-speed electron and ion which were emitted from the plasma 305 collide with a nozzle 302, and can be prevented from shaving off a nozzle by separating a laser radiation location from a nozzle 302. Fall of a particle may be performed continuously, nozzle opening is equipped with a shutter etc., and you may make it a particle fall intermittently at this time. Since the most falls without laser light irradiating even if it continues dropping a particle continuously when the repeat frequency of laser light is low, the particle-like target matter will be consumed vainly.

[0024] Then, if the shutter with which the nozzle is equipped in such a case just before carrying out laser luminescence is opened and it is made to drop the particle-like target matter, the consumption of the particle-like target matter can be reduced. moreover — for example, in the X-ray generator concerning this invention, the target matter of the shape of the shape of a particle and a liquid is made to blow off from opening according to a centrifugal force, continuation supply of the target matter is carried out, and pulse laser light is condensed to the target matter which blew off.

[0025] Thus, if the target matter is made to blow off from opening according to a centrifugal force, continuation supply of the target matter can be carried out at a rate quicker than the time of free fall (claim 2). Drawing 4 is quoted and this operation gestalt is explained concretely. In addition, although the gestalt of the target matter is a particle-like in drawing 4 R>4, it is the same even if liquid, the particle 402 which is the target matter — a funnel — it is accumulated into target \*\*\*\*\* 401 of a \*\*. In the base of target \*\*\*\*\* 401, the hole is open, and a particle 402 falls in the lower disk 403 from this hole. The disk 403 is narrow as are shown in drawing 4 R>4 (a), and the cross section goes to a circumferencial direction.

[0026] Moreover, opening is prepared in two on the periphery of a disk side face. The disk 403 is rotating at the high speed centering on the core, and the particle 402 which fell in the disk moves to a circumferencial direction according to a centrifugal force, and is emitted from each opening, respectively. particle 402a emitted from opening — a disk — it flies at a high speed to a tangential direction mostly. It is omega about the angular velocity of rotation of a disk 403 here. If it considers as [rad/sec] and the radius of a disk is set to r [m], the rate v of the periphery of a disk will serve as  $v=r\omega$  [m/sec]. a rate with a particle almost equivalent to opening of a disk to this — a disk — it is mostly emitted to a tangential direction.

[0027] And although it plasma-izes and an X-ray is made to radiate by irradiating laser light at the group of particle 402a under emitted flight, the scattering particle emitted from the plasma at this time changes an orbit in the flight direction of a particle with inertial force. Therefore, the number of the scattering particles which fly in a direction opposite to the flight direction of a corpuscular stream or the direction of horizontal decreases. Then, by arranging an X-ray optics component in this location, the scattering particle which goes to an optical element can be reduced, and property degradation and damage on an optical element by the scattering particle can be controlled or prevented.

[0028] Emission of a particle may be performed continuously, opening is equipped with a shutter etc., and you may make it make a particle emit intermittently at this time. Since the most is not irradiated by laser light even if it continues making a particle emit continuously when the repeat frequency of laser light is low, the particle-like target matter will be consumed vainly.

[0029] Then, if the shutter with which opening is equipped in such a case just before carrying out laser luminescence is opened and it is made to make the particle-like target matter emit, the consumption of the particle-like target matter can be reduced. As target matter concerning this invention, not only the single matter of the shape of the shape of a particle and a liquid but the thing with which two or more kinds of matter chosen from both the particle-like matter and the liquid matter was mixed is usable (claim 3).

[0030] that is, the X-ray which has desired X-ray-spectrum (it was suitable for purpose) distribution can be made to radiate by it being possible for the target matter to mix two or more matter (the shape of a particle — or liquid) easily, and to constitute the target matter, since it is liquid, the shape of a particle and as for the target matter concerning this invention, and irradiating laser light at this target matter

[0031] For example, as for the spectrum distribution of the X-ray radiated from LPX, in the equipment which measures the wavelength dependency of a mirror, the reflection factor of a filter, or permeability while carrying out the spectrum of the X-ray from LPX using a diffraction grating and performing a wavelength scan, it is desirable that it is a flat as much as possible. however, since it is difficult for one kind of target matter to realize, what the X-ray spectrum which has uniform intensity distribution is obtained for (it is made to radiate) can perform uniform spectral intensity distribution by mixing two or more matter (the shape of a particle — or liquid) which has the spectral intensity distribution which complements mutually and suits, constituting the target matter (the shape of a particle — or liquid), and irradiating laser light at this target matter.

[0032] It is desirable to collect and carry out the reuse of the target matter made to fall or blow off from opening at the X-ray generator concerning this invention (claim 4). For example, by collecting the target matter made to fall or blow off from opening, and returning to target \*\*\*\*\* 301,401 again, it becomes possible to continue supplying the target matter semipermanently, and the running cost of equipment can be reduced.

[0033] As target matter concerning this invention (claims 1-5), alloys, such as element simple substances, such

as tin (Sn) and copper (Cu), and a pewter, a compound like a salt (NaCl), or ceramics like boron nitride (BN) can be used, for example. Moreover, as for the magnitude of the target matter concerning this invention (claims 1-5), it may be desirable that it is the diameter of several mm or less, it may be small however, and especially the minimum is not restricted.

[0034] moreover, opening or the nozzle for which the target matter (the shape of a particle — or liquid) falls — or especially the upper limit is not restricted that opening or the nozzle to which the target matter is emitted should just have the magnitude which can pass the target matter. Moreover, the configurations of opening or a nozzle may be what kind of configurations, such as the shape of circular, an ellipse form, a triangle, a square, a line, and radii. In this invention (claims 1-5), since the target matter is sent out using gravity or a centrifugal force (supply), it is not influenced by matter other than the target matter.

[0035] On the other hand, although the particle-like target matter is made to blow off with gas and can also be supplied like the conventional technique, the X-ray with which the spectrum resulting from matter other than the target matter (gas) was mixed by laser light exposure in this case since the gas for jet was also plasma-ized together with the target matter will be radiated. Moreover, in the case of said conventional technique, since gas is made to blow off in a vacuum, gas will expand toward a perimeter rapidly, and the particle-like target matter will also be around diffused together with gas. And the number density of the target matter decreases rapidly as the distance from a nozzle separates.

[0036] Therefore, in the case of said conventional technique, in order to raise X-ray intensity, the number density of the target matter needs to irradiate laser [ near / high / the nozzle ] at the target matter, and the problem that a nozzle is shaved off with the high-speed electron and ion from the plasma arises. On the other hand, in this invention, since gas is not used for supply (fall, jet) of the target matter, the problem which said conventional technique has is not produced.

[0037] Since the continuation supply of the target matter can be carried out in the X-ray plant (claim 5). equipped with the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), operation effectiveness is higher than before. Moreover, in the X-ray plant (claim 5) equipped with the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), since the target matter of varieties can be used conventionally, it is possible to generate the X-ray of various wavelength or a spectrum configuration, and to use, and the selection width of face of wavelength or a spectrum configuration spreads conventionally (the X-ray of the spectrum distribution suitable for the purpose can be used).

[0038] Furthermore, in the X-ray plant (claim 5) equipped with the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), the scattering particle which goes to an optical element conventionally can be reduced, and property degradation and damage on an optical element by the scattering particle can be controlled or prevented. Hereafter, although an example explains this invention concretely, this invention is not limited to these examples.

[0039]

[Example 1] The pulse laser light 101 is condensed to the target matter 105 in the decompressed container 100, this target matter is plasma-ized, with the X-ray generator (refer to drawing 1 ) of this example using the X-ray radiated from this plasma 109, the gestalt of the target matter 105 is made into the shape of a particle, free fall of the target matter 105 is carried out from opening of a nozzle 106, and the pulse laser light 101 is condensed to the target matter under fall.

[0040] The inside of a container 100 is exhausted by evacuation equipment (not shown), and the laser light 101 carries out aerial discharge on the way, or it is decompressed to the pressure of extent which the X-ray radiated from the plasma 109 is absorbed, and is not decreased remarkably. Into target \*\*\*\*\* 104, the boron nitride (BN) of the shape of a particle which is the target matter 105 is accumulated, and the mean particle diameter of BN is about 1 micrometer.

[0041] A nozzle 106 is attached in the bottom of target \*\*\*\*\* 104, opening with a diameter of 100 micrometers is open at the tip of a nozzle 106, and BN particle passes this opening and falls downward. A piezo-electric element 107 is attached in a nozzle 106, and he is trying not to get a nozzle blocked by the particle by giving vibration of few amplitude to a nozzle 106 by this piezo-electric element 107.

[0042] On BN particle group which is falling from a nozzle 106, it is condensed with a lens 102 and the pulse laser light 101 generates the plasma 109. The X-ray radiated from the plasma 109 is incorporated by the optical system which used the X-ray optics component (un-illustrating). The nozzle 106 and BN particle group in the middle of fall are covered with the pipe 108. The scattering particle emitted from the plasma and falling BN particles are scattered about in a container 100, or this pipe 108 adheres, and it is attached so that the inside of a container may not be soiled.

[0043] Opening to which incidence of the laser light is carried out, opening to which outgoing radiation of the laser light in the location which counters it is carried out, and opening for taking out an X-ray are prepared in the pipe 108. Opening for laser light outgoing radiation is prepared for the alignment of a laser optical axis, and this opening may be blocked after alignment is completed.

[0044] BN particle which the pipe 108 is connected to the container 110 for recycling of the target matter, and fell -- all are almost collected in this container and it is stored. BN particle which fell pushes down constant-rate \*\*\*\*\* et al. in the container 110 for recycling, and the door 111 prepared in the container 110 for recycling in the direction of A, and slushes BN particle which collected in the container in the container for conveyance attached by the band conveyor 112.

[0045] The drive block of a band conveyor 112 is rotating in the direction of B, and the container for

conveyance moves in the direction of C. And when coming to near a summit, BN particle in the container for conveyance is made to flow in target \*\*\*\*\* 104. Thus, by collecting and reusing the target matter used once, it becomes possible to continue supplying the target matter semipermanently, and a running cost can be reduced.

[0046] What is necessary is just to make it not become a lump by stirring BN particle 105 within target \*\*\*\*\* or heating target \*\*\*\*\* 104 at a heater etc., and evaporating the water of adsorption on the front face of a particle, when the BN particle 105 adheres each other within target \*\*\*\*\* 104 and serves as a lump by the water of adsorption adhering to a particle front face etc. In this example, although BN is used for the target matter, it may not be limited to this and you may be what kind of target matter. For example, you may be the target matter which mixed two or more particle-like matter.

[0047] Moreover, even if it is not a particle-like in ordinary temperature, it is made to solidify in the state of low temperature, and is good also considering this as the shape of a particle. For example, although a carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and a krypton (Kr) are gases in ordinary temperature, in the case of CO<sub>2</sub>, it solidifies below -209 degrees C, and, in Kr, they are solidified below -156.6 degrees C. Thus, the target matter which ground the matter solidified at low temperature and was made into the shape of a particle may be used.

[0048]

[Example 2] The pulse laser light 201 is condensed to the target matter 205 in the decompressed container 200, this target matter 205 is plasma-ized and the pulse laser light 201 is condensed to the target matter which made the gestalt of the target matter 205 into the shape of a particle, and the target matter 205 was made to blow off from opening according to a centrifugal force, and blew off in the X-ray generator (refer to drawing 2.) of this example using the X-ray radiated from this plasma 209.

[0049] In this example, the particle of B4C is used as target matter and the mean particle diameter of a particle is about 0.1 micrometers. In addition, since the equipment configuration is the same as that of an example 1 almost, only a different part is explained in detail. the particle 205 of B4C accumulated in target \*\*\*\*\* 204 — a nozzle 206 to the disk 207 — it falls towards a part for a core mostly. The cross-section structure of a disk 207 has become like drawing 4 (a), and two openings with a diameter of 100 micrometers have opened it on the periphery of the side face of a disk 207. Moreover, the disk 207 is rotating at the high speed by the drive of a motor 208.

[0050] The particle 205 of B4C which fell in the disk 207 moves to a circumferential direction promptly in rotation of a disk, and blows off from said opening. And it is controlled so that the particle 205 of B4C to which the laser light 201 blew off from opening of a disk exactly synchronizing with rotation of a disk 207 irradiates, and the particle 205 of B4C plasma-izes by laser light exposure, and an X-ray is radiated.

[0051] Here, the circumference of a disk 207 is covered with covering 213, and the particles of emitted B4C are collected so that the particles 205 of B4C emitted from opening of a disk 207 (jet) may not be scattered about in a container 200. The hole which introduces B4C particle from target \*\*\*\*\* 204 into covering 213, the hole which introduces laser light, and one or more holes which take out an X-ray are prepared, respectively, and the hole for making collected B4C particle flow into a container 210 is further established in the base.

[0052] B4C particle brought together in the container 210 is carried on a band conveyor 212 like an example 1, and is returned to target \*\*\*\*\* 204. For this reason, it can be used semipermanently, without supplying the target matter from the container outside. Since the rate is quick compared with free fall [ in / in the particle emitted from the disk 207 / an example 1 ], the flight direction is changed into the scattering particle emitted from the plasma in the emission direction of a particle with inertial force.

[0053] Therefore, if optical elements and X-ray optics components, such as a laser light condenser lens, are arranged in the location of the longitudinal direction of a corpuscular stream, or the location of the opposite side, the scattering particle weight adhering to up to these optical elements can be reduced. Although the disk was used in this example as a means to which a particle is made to emit according to a centrifugal force, as long as it is the rotating body, the thing of what kind of configuration may be used. For example, a rod-like body may be rotated and a particle may be made to emit from the tip.

[0054] Moreover, what is necessary is to stir the B4C particle 205 within target \*\*\*\*\* or to heat target \*\*\*\*\* 204 and a disk 207 at a heater etc., to evaporate the water of adsorption on the front face of a particle, and just to make it not become a lump, when the B4C particle 205 adheres each other within target \*\*\*\*\* 204 or a disk 207 and serves as a lump by the water of adsorption adhering to a particle front face etc.

[0055] Although B4C is used as target matter in this example, it may not be concerned with this, but you may be what kind of matter, and may be the target matter which mixed two or more particle-like matter. Moreover, even if it is not a particle-like in ordinary temperature, it is made to solidify in the state of low temperature, and is good also considering this as the shape of a particle. For example, although a carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and a krypton (Kr) are gases in ordinary temperature, in the case of CO<sub>2</sub>, it solidifies below -209 degrees C, and, in Kr, they are solidified below -156.6 degrees C. Thus, the target matter which ground the matter solidified at low temperature and was made into the shape of a particle may be used.

[0056] Although the band conveyor for circulating the target matter was installed in the vacuum housing in the examples 1 and 2, this may be arranged besides a vacuum housing. Moreover, although the band conveyor is used as a circulation means of the target matter in the examples 1 and 2, not only this but other circulation means may be used. For example, a gas stream may be formed, the particle-like target matter may be put on the flow of this gas, and you may convey to target \*\*\*\*\*.

[0057] Although the particle-like target matter was used in the examples 1 and 2, the liquid-like target matter

is sufficient as this. For example, you may be water ( $H_2O$ ), alcohol, and oil (oil for diffusion pumps etc.). Moreover, the target matter does not necessarily need to be liquid in ordinary temperature. Free fall of this may be carried out from opening, or it may be made to blow off with a centrifugal force as liquid by [ heating and ] cooling.

[0058] For example, tin (Sn) may be heated at 231.97 degrees C or more, it may suppose that it is liquid, and this may be used. Or a krypton (Kr) may be cooled at -156.6 degrees C - -153.4 degrees C, it may suppose that it is liquid, and this may be used. Although only one kind of target matter was used in the examples 1 and 2, two or more matter may be mixed and used. In this case, particle-like matter may be mixed and liquid-like matter may be mixed, and into the liquid-like matter, the particle-like target matter is mixed and you may use as turbidity liquid.

[0059] According to the X-ray generator concerning examples 1 and 2, since the continuation supply of the target matter can be carried out, operation effectiveness is higher than before. Moreover, according to the X-ray generator concerning examples 1 and 2, since the target matter of varieties can be used conventionally, it is possible to generate the X-ray of various wavelength or a spectrum configuration, and the selection width of face of wavelength or a spectrum configuration spreads conventionally (the X-ray-spectrum distribution suitable for the purpose is acquired).

[0060] Furthermore, according to the X-ray generator concerning examples 1 and 2, the scattering particle which goes to an optical element conventionally can be reduced, and property degradation and damage on an optical element by the scattering particle can be controlled or prevented.

[0061]

[Effect of the Invention] According to the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), as explained above, it is possible to generate the X-ray of various wavelength or a spectrum configuration, and since the selection width of face of wavelength or a spectrum configuration spreads conventionally, the X-ray-spectrum distribution suitable for the purpose is acquired.

[0062] Moreover, in the X-ray generator applied to the shape of a particle, and this invention (claims 1-4) made liquid in the target matter, continuation supply of the target matter can be easily carried out by the easy configuration. In the X-ray generator concerning this invention (claim 2), since the target matter of the shape of the shape of a particle and a liquid is made to blow off from opening according to a centrifugal force, continuation supply of the target matter can be carried out at a rate quicker than the time of free fall.

[0063] as target matter concerning this invention, not only the single matter of the shape of the shape of a particle and a liquid but the thing (the shape of a particle — or liquid) with which two or more kinds of matter was mixed is usable (claim 3), that is, the X-ray which has desired X-ray-spectrum (it was suitable for purpose) distribution can be made to radiate by it being possible for the target matter to mix two or more matter (the shape of a particle — or liquid) easily, and to constitute the target matter, since it is liquid, the shape of a particle and as for the target matter concerning this invention, and irradiating laser light at this target matter

[0064] It is desirable to collect and carry out the reuse of the target matter made to fall or blow off from opening at the X-ray generator concerning this invention (claim 4). For example, by collecting the target matter made to fall or blow off from opening, and returning to target \*\*\*\*\* 301,401 again, it becomes possible to continue supplying the target matter semipermanently, and the running cost of equipment can be reduced.

[0065] In this invention (claims 1-5), since the target matter is sent out using gravity or a centrifugal force (supply), it is not influenced by matter other than the target matter. Since the continuation supply of the target matter can be carried out in the X-ray plant (claim 5) equipped with the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), operation effectiveness is higher than before. Moreover, in the X-ray plant (claim 5) equipped with the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), since the target matter of varieties can be used conventionally, it is possible to generate the X-ray of various wavelength or a spectrum configuration, and to use, and the selection width of face of wavelength or a spectrum configuration spreads conventionally (the X-ray of the spectrum distribution suitable for the purpose can be used).

[0066] Furthermore, in the X-ray plant (claim 5) equipped with the X-ray generator concerning this invention (claims 1-4), the scattering particle which goes to an optical element conventionally can be reduced, and property degradation and damage on an optical element by the scattering particle can be controlled or prevented. According to this invention, since the target matter can be supplied continuously, long duration use can be carried out, without stopping actuation of X line source.

[0067] Moreover, since the reuse of the target matter is collected and carried out, the cost concerning the target matter can be reduced. Moreover, since the matter which is not processible the shape of a tape or in the shape of a wire can also be used as target matter, the wavelength field of an X-ray and the range of selection of a spectrum configuration which are used for equipment can be extended.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

**[Brief Description of the Drawings]**

[Drawing 1] It is the outline block diagram showing the X-ray generator of \*\*\*\*\* 1.

[Drawing 2] It is the outline block diagram showing the X-ray generator of \*\*\*\*\* 2.

[Drawing 3] It is the conceptual diagram showing the continuous supply approach of the target matter concerning \*\*\*\*\* of having used natural fall.

[Drawing 4] It is the conceptual diagram showing the continuous supply approach of the target matter concerning \*\*\*\*\* of having used the centrifugal force.

**[Description of Notations in the Main Part]**

100 200 — Vacuum housing

101,201 — Laser light

102,202 — Lens

103,203 — Aperture

104,204 — Target \*\*\*\*\*

105,205 — Particle-like target matter

106,206 — Nozzle

107 — Piezo vibrator

207 — Disk

108 — Pipe

208 — Motor

109,209 — Plasma

110 — Container for target recycling

210 — Container

111,211 — Door

112,212 — Band conveyor

213 — Covering

301 — Target \*\*\*\*\*

302 — Nozzle

303 — Particle-like target matter

304 — Laser light

305 — Plasma

401 — Target \*\*\*\*\*

402 — Particle-like target matter

403 — Disk

Above

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-215998

(P2000-215998A)

(43)公開日 平成12年8月4日(2000.8.4)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H 05 G 2/00

識別記号

F I

H 05 G 1/00

テーマコード(参考)

K 4 C 0 9 2

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平11-16807

(22)出願日 平成11年1月26日(1999.1.26)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 近藤 洋行

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

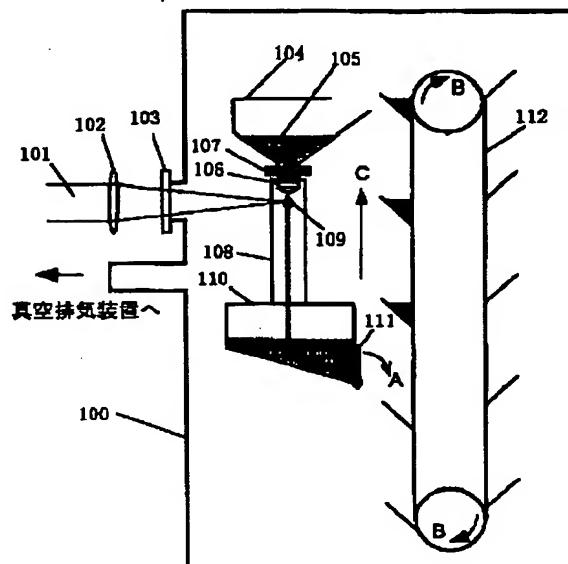
F ターム(参考) 40092 AA06 AA15 AB21 AC09

## (54)【発明の名称】 X線発生装置及びX線装置

## (57)【要約】

【課題】 標的物質をテープ状、ワイヤー状、薄膜状(テープ基板上)に加工することなく、或いは前記加工ができない標的物質であっても、連続的に供給することができるL P Xと、該L P Xを備えたX線装置を提供すること。

【解決手段】 減圧された容器100内の標的物質にパルスレーザー光101を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマ109より輻射されるX線を利用するX線発生装置において、前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質105を開口106により自由落下させ、落下中の標的物質に前記パルスレーザー光101を集光することを特徴とするX線発生装置。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置において、

前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質を開口より自由落下させ、落下中の標的物質に前記パルスレーザー光を集光することを特徴とするX線発生装置。

【請求項2】 減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置において、

前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質を遠心力により開口から噴出させ、噴出した標的物質に前記パルスレーザー光を集光することを特徴とするX線発生装置。

【請求項3】 前記標的物質は、微粒子状物質または液体状物質のうちの一方または両方から選択した二種類以上の物質が混合されたものであることを特徴とする請求項1または2記載のX線発生装置。

【請求項4】 前記開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収し、再使用することを特徴とする請求項1～3記載のX線発生装置。

【請求項5】 請求項1～4記載のX線発生装置を備えたX線装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、X線装置（X線顕微鏡、X線分析装置、X線露光装置など）のX線源として用いて好適なX線発生装置と、該X線発生装置を備えたX線装置に関するものである。

## 【0002】

【従来技術】 減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置（レーザープラズマX線源、LPX）は、高輝度でありながら小型であることから、実験室サイズのX線装置（例えば、X線顕微鏡やX線分析装置など）用の光源として注目されている。

【0003】 また、LPXは標的物質によりX線スペクトルの形状やX線波長が変わるため、用途に応じた使用が可能である。例えば、標的物質として炭素や酸素の様な軽元素を使用すると、離散的なラインスペクトルが得られるので、X線の単色性が要求される光電子分析装置の光源に適している。

【0004】 また、標的物質として金やタンゲステンのような重元素を使用すると、広い波長範囲にわたるブロードなスペクトルが得られるので、分光器により分光して波長をスキャンしながら反射率を測定する反射率測定

装置の光源に適している。しかしながら、LPXを実用化するに当たっては、装置の運転効率を上げるために、長時間にわたってLPXを運転できるようになることが不可欠である。よって、標的物質は長時間連続的に供給できなければならない。

【0005】 ところで、LPXにおいて標的物質にレーザーを照射したとき、標的物質により構成される標的部材が壊られるので、標的部材の同一位置へレーザーを多数回照射すると、レーザーが標的部材を貫通してしまう。そこで、標的部材にレーザーを1ショットまたは数ショット照射した後は、例えば標的部材を移動させて、標的部材の別の位置にレーザーを照射する必要がある。

【0006】 そのため、従来のX線発生装置では①標的部材（標的物質）をテープ状にする、②テープ状基板の上に標的物質を成膜して標的部材とする、③標的部材（標的物質）をワイヤー状にする、などして標的部材を長時間使用できるようにしていた。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、標的部材をテープ状やワイヤー状にしたとしても、その長さは有限であり、いずれは標的部材を交換する必要がある。そして、標的部材交換の際にはLPXと、LPXを光源とするX線装置の運転を停止する必要があり、そのためLPX及びX線装置の運転効率が低下するという問題がある。

【0008】 また、連続使用できる標的物質はテープ状、ワイヤー状、または薄膜状（テープ基板上）に加工できる必要があり、使用できる標的物質が制限されるという問題がある。ところで、X線露光装置等においては、スループットを良くする上でLPXの繰り返し周波数はできるだけ高い方がよく、繰り返し周波数が數kHz程度のものが必要とされる。そして、この場合にテープ状またはワイヤー状の標的部材の供給速度は数m/sec程度が必要であるため、供給方法が困難になるという問題がある。

【0009】 さらに、LPXではプラズマやプラズマ近傍の標的物質から放出される飛散粒子が問題となる。飛散粒子の形態はイオン状、原子状、クラスター状の極めて小さく軽い粒子のものから、直徑數 $\mu\text{m}$ ～數 $10\mu\text{m}$ 程度にまで及ぶ熔融された液滴状のものまで様々である。そして、液滴状の重くて大きい飛散粒子はX線光学素子に衝突すると、光学素子を破損してしまう。また、原子状の小さな飛散粒子はX線光学素子上に付着堆積し、次第にその性能（反射率や透過率）を低下させてしまう。

【0010】 従って、飛散粒子量の少ないLPXを提供することが大きな課題となっている。そこで、この課題を解決する方法の一つとして、直徑 $10\text{cm}$ の円盤状ターゲット部材を高速回転（40,000回転/分、円盤の接線方向の速度は約 $200\text{m/sec}$ ）させ、その円周近傍にレーザー光を照射することにより、レーザー照射点近

傍から放出された飛散粒子の方向を円盤の慣性力により回転方向に集中させる試みが行われている (L. A. Shma enok et al., Proceedings of the Conf. On Applications of Laser Plasma Radiation II, SPIE 2523, 12-14 July 1995)。

【0011】しかしながら、この方法では、円盤の大きさに限りがあるため、所定のショット数をレーザー照射した後にターゲットを交換する必要があった。そして、ターゲット交換の際には真空容器の真空を破る必要（即ち、LPXと、LPXを光源とするX線装置の運転を中断する必要）があり、LPX及びX線装置の運転効率が著しく低下するという問題がある。

【0012】本発明は、かかる従来技術の問題に鑑みてなされたものであり、標的物質をテープ状、ワイヤー状、薄膜状（テープ基板上）に加工することなく、或いは前記加工ができない標的物質であっても、連続的に供給することができるLPXと、該LPXを備えたX線装置を提供することを目的とする。さらに、本発明は、飛散粒子量の少ないLPX、目的に適したX線スペクトル分布が得られるLPXと、これらのLPXを備えた運転効率の高いX線装置を提供することを目的とする。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明は第一に「減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置において、前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質を開口より自由落下させ、落下中の標的物質に前記パルスレーザー光を集光することを特徴とするX線発生装置（請求項1）」を提供する。

【0014】また、本発明は第二に「減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置において、前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質を遠心力により開口から噴出させ、噴出した標的物質に前記パルスレーザー光を集光することを特徴とするX線発生装置（請求項2）」を提供する。

【0015】また、本発明は第三に「前記標的物質は、微粒子状物質または液体状物質のうちの一方または両方から選択した二種類以上の物質が混合されたものであることを特徴とする請求項1または2記載のX線発生装置（請求項3）」を提供する。また、本発明は第四に「前記開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収し、再使用することを特徴とする請求項1～3記載のX線発生装置（請求項4）」を提供する。

【0016】また、本発明は第五に「請求項1～4記載のX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）」を提供する。

#### 【0017】

【発明の実施の態様】減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用する本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置においては、標的物質の形態を殆どの物質がとりうる形態である微粒子状または液体状としている。

【0018】即ち、テープ状、ワイヤー状、薄膜状（テープ基板上）に加工することができない物質でも、微粒子状または液体状にすることは殆どの場合に可能である。例えば、窒化硼素(BN)、B4C、SiCなどのセラミックスは、テープ状に加工することは困難であるが、これらの微粒子は容易に形成することができる。そして、従来はテープ状等に加工することができないため、LPXの標的物質として使用できなかった物質でも、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置では、微粒子状または液体状にすることで使用可能となり、従来よりも多種類の標的物質が使用できる。

【0019】従って、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置によれば、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させることができあり、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がるので、目的に適したX線スペクトル分布が得られる。また、標的物質を微粒子状または液体状とした本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置においては、簡単な構成により容易に標的物質を連続供給することができる。

【0020】即ち、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置においては、標的物質をテープ状、ワイヤー状、薄膜状（テープ基板上）に加工することなく、或いは前記加工ができない標的物質であっても、簡単な構成により容易かつ連続的に供給することができる。例えば、本発明にかかるX線発生装置においては、微粒子状または液体状の標的物質を開口より自由落下させることにより標的物質を連続供給して、落下中の標的物質にパルスレーザー光を集光している。

【0021】この実施形態を図3を引用して具体的に説明する。なお、図3では標的物質の形態が微粒子状であるが、液体状であっても同様である。ロート状の標的の溜まり301内には微粒子状の標的物質303が蓄積されており、その下にはノズル302が取り付けられている。標的溜まり301内の微粒子303は重力によりノズル302から砂時計のように自由落下する。

【0022】この時、ノズルの開口から落下した微粒子の速度vは、重力加速度をgとし、ノズルの開口を出るときの速度をv0、ノズル開口から出でからの経過時間をtとすると、 $v = g t + v_0$ となる。そして、落下途中の微粒子状の標的物質303aにレーザー光304を照射することにより、プラズマ305を生成させてX線を輻射させる。標的物質303aを真空中で落下させるため、落下途中で微粒子群が広がって行くことがなく（ノズル302から離れてても標的物質の数密度が減少せ

ず)、レーザー照射位置をノズル302から離すことができる。

【0023】即ち、レーザー照射位置をノズル302から離すことにより、プラズマ305から放出された高速電子やイオンがノズル302に衝突して、ノズルを削り取ることが無いようになることができる。このとき、微粒子の落下は連続的に行なっても良いし、ノズル開口部にシャッターなどを備え付け、間欠的に微粒子が落下するようにしてもよい。レーザー光の繰り返し周波数が低い場合、微粒子を連続的に落下させ続けても、そのほとんどはレーザー光によって照射されずに落下するので、微粒子状の標的物質が無駄に消費されてしまう。

【0024】そこで、この様な場合には、レーザー発光する直前にノズルに備え付けられているシャッターを開いて、微粒子状の標的物質を落下させるようにすれば、微粒子状標的物質の消費量を低減することができる。また例えば、本発明にかかるX線発生装置においては、微粒子状または液体状の標的物質を遠心力により開口から噴出させて標的物質を連続供給し、噴出した標的物質にパルスレーザー光を集光している。

【0025】このように、遠心力により標的物質を開口から噴出せば、自由落下のときよりも速い速度で標的物質を連続供給することができる(請求項2)。この実施形態を図4を引用して具体的に説明する。なお、図4では標的物質の形態が微粒子状であるが、液体状であっても同様である。標的物質である微粒子402はロート状の標的溜まり401内に蓄積されている。標的溜まり401の底面には穴が開いており、微粒子402はこの穴から下の円盤403内に落下する。円盤403は図4(a)に示す様にその断面は円周方向に行くにつれて狭くなっている。

【0026】また、円盤側面の円周上の二カ所には開口が設けられている。円盤403はその中心を軸に高速に回転しており、円盤内に落下した微粒子402は遠心力により円周方向に移動して、各開口からそれぞれ放出される。開口より放出された微粒子402aは円盤のほぼ接線方向へ高速に飛翔する。ここで、円盤403の回転の角速度を $\omega$  [rad/sec]とし、円盤の半径を $r$  [m]とすると、円盤の円周の速度 $v$ は $v = r\omega$  [m/sec]となる。微粒子は円盤の開口からこれとほぼ同等の速度で円盤のほぼ接線方向に放出される。

【0027】そして、放出された飛翔中の微粒子402aの群にレーザー光を照射することによりプラズマ化してX線を輻射させるが、このときプラズマから放出された飛散粒子は慣性力により微粒子の飛翔方向に軌道を変える。そのため、微粒子流の飛翔方向とは反対の方向や横の方向に飛んでくる飛散粒子の数は減少する。そこで、この位置にX線光学素子を配置することにより、光学素子に向かう飛散粒子を低減させて、飛散粒子による光学素子の特性劣化や損傷を抑制または防止することが

できる。

【0028】このとき、微粒子の放出は連続的に行っても良いし、開口部にシャッターなどを備え付け、間欠的に微粒子を放出させるようにしてもよい。レーザー光の繰り返し周波数が低い場合、微粒子を連続的に放出させ続けても、そのほとんどはレーザー光によって照射されないので、微粒子状の標的物質が無駄に消費されてしまう。

【0029】そこで、この様な場合には、レーザー発光する直前に開口に備え付けられているシャッターを開いて、微粒子状の標的物質を放出させるようにすれば、微粒子状標的物質の消費量を低減することができる。本発明にかかる標的物質としては、微粒子状または液体状の単一物質のみならず、微粒子状物質と液体状物質との両方から選択した二種類以上の物質が混合されたものも使用可能である(請求項3)。

【0030】即ち、本発明にかかる標的物質は、標的物質が微粒子状または液体状であるため、容易に複数の物質(微粒子状または液体状)を混合させて標的物質を構成することが可能であり、かかる標的物質にレーザー光を照射することにより、所望の(目的に適した)X線スペクトル分布を有するX線を輻射させることができる。

【0031】例えば、LPXからのX線を回折格子を用いて分光し、波長スキャンを行いながらミラーやフィルターの反射率や透過率の波長依存性を測定する装置においては、LPXから輻射されるX線のスペクトル分布は、できる限りフラットであることが好ましい。ところが、均一なスペクトル強度分布は、1種類の標的物質により実現するのは難しいので、互いに補完しあうスペクトル強度分布を有する複数の物質(微粒子状または液体状)を混合して標的物質(微粒子状または液体状)を構成し、かかる標的物質にレーザー光を照射することにより、均一な強度分布を有するX線スペクトルを得る(輻射させる)ことができる。

【0032】本発明にかかるX線発生装置では、開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収し、再使用することが好ましい(請求項4)。例えば、開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収して再び標的溜まり301、401に戻すことにより、半永久的に標的物質を供給し続けることが可能となり、装置のランニングコストを低減することができる。

【0033】本発明(請求項1~5)にかかる標的物質としては、例えば、錫(Sn)や銅(Cu)等の元素単体、ハンダ等の合金、塩(NaCl)の様な化合物、または窒化硼素(BN)の様なセラミックスが使用できる。また、本発明(請求項1~5)にかかる標的物質の大きさは、直径数mm以下であることが好ましく、どんなに小さなものでも良くその下限は特に制限されない。

【0034】また、標的物質(微粒子状または液体状)が落下する開口またはノズルは、或いは標的物質が放出

される開口またはノズルは、標的物質が通過できる大きさを有すればよく、その上限は特に制限されない。また、開口やノズルの形状は、円形、橢円形、三角形、四角形、線状、円弧状など、どんな形状であっても良い。本発明（請求項1～5）においては、重力や遠心力をを利用して標的物質を送出（供給）しているので、標的物質以外の物質による影響を受けない。

【0035】これに対して、従来技術のように微粒子状の標的物質をガスとともに噴出させて供給することもできるが、この場合には、レーザー光照射により、噴出用のガスも標的物質と一緒にプラズマ化してしまうので、標的物質以外の物質（ガス）に起因するスペクトルが混ざったX線が輻射されることとなる。また、前記従来技術の場合には、真空中にガスを噴出させるので急激に周囲に向かってガスが膨張し、微粒子状の標的物質もガスと一緒に周囲に拡散してしまう。そして、ノズルからの距離が離れるにつれて急激に標的物質の数密度が減少する。

【0036】そのため、前記従来技術の場合には、X線強度を上げるために、標的物質の数密度が高いノズル近傍において標的物質にレーザーを照射する必要があり、プラズマからの高速電子やイオンによりノズルが削り取られるという問題が生じる。一方、本発明では、標的物質の供給（落下、噴出）にガスを使用していないので、前記従来技術が有する問題は生じない。

【0037】本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、標的物質を連続供給できるので従来よりも運転効率が高い。また、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、従来よりも多種類の標的物質が使用できるので、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させて利用することが可能であり、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がる（目的に適したスペクトル分布のX線が使用できる）。

【0038】さらに、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、従来よりも光学素子に向かう飛散粒子を低減させて、飛散粒子による光学素子の特性劣化や損傷を抑制または防止することができる。以下、本発明を実施例により具体的に説明するが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

#### 【0039】

【実施例1】減圧された容器100内の標的物質105にパルスレーザー光101を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマ109より輻射されるX線を利用する本実施例のX線発生装置（図1参照）では、標的物質105の形態を微粒子状とし、その標的物質105をノズル106の開口より自由落下させ、落下中の標的物質にパルスレーザー光101を集光している。

【0040】容器100内は真空排気装置（図示せず）に

より排気され、レーザー光101が途中で気中放電したり、プラズマ109から輻射されたX線が吸収されて著しく減衰しない程度の圧力まで減圧されている。標的溜まり104内には、標的物質105である微粒子状の窒化硼素（BN）が蓄積されており、BNの平均粒径は約1μmである。

【0041】標的溜まり104の底にはノズル106が取り付けられて、ノズル106の先端には直径100μmの開口が開いており、BN微粒子はこの開口を通過して下に落下する。ノズル106にはピエゾ素子107が取り付けられて、このピエゾ素子107により僅かな振幅の振動をノズル106に与えることにより、ノズルが微粒子により詰まらないようにしている。

【0042】パルスレーザー光101は、ノズル106から落下しつつあるBN微粒子群の上にレンズ102により集光されてプラズマ109を生成する。プラズマ109から輻射されたX線は、X線光学素子（不図示）を用いた光学系に取り込まれる。ノズル106及び落下途中のBN微粒子群は、パイプ108により覆われている。このパイプ108は、プラズマから放出される飛散粒子や落下するBN微粒子が容器100内に散乱したり付着して、容器内を汚すことないように取り付けられている。

【0043】パイプ108には、レーザー光を入射する開口と、それに対向する位置にあるレーザー光を出射する開口と、X線を取り出すための開口が設けられている。レーザー光出射用の開口は、レーザー光軸のアライメントのために設けられており、アライメントが終了した後はこの開口は封鎖しても良い。

【0044】パイプ108は、標的物質の回収容器110に接続されており、落下したBN粒子の殆ど全てはこの容器内に回収されて蓄えられる。落下したBN粒子が回収容器110内にある一定量溜まつたら、回収容器110に設けられた扉111をA方向に倒して、容器内に溜まったBN微粒子をベルトコンベヤー112に取り付けられた搬送用容器内に流し込む。

【0045】ベルトコンベヤー112の駆動滑車はB方向に回転しており、搬送用容器はC方向に移動する。そして、頂上付近まで来たら、搬送用容器内のBN微粒子を標的溜まり104内に流入させる。このように一度使用した標的物質を回収して再利用することにより、標的物質を半永久的に供給し続けることが可能となり、ランニングコストを低減することができる。

【0046】BN微粒子105が微粒子表面に付着した吸着水等により、標的溜まり104内で互いにくっつき合って固まりとなる場合には、標的溜まり内でBN微粒子105攪拌したり、標的溜まり104をヒーターなどにより加熱して、微粒子表面の吸着水を蒸発させることにより、固まりとならないようにすればよい。本実施例では、標的物質にBNを用いているが、これに限定され

ることはなくどのような標的物質であっても良い。例えば、複数の微粒子状物質を混合した標的物質であっても良い。

【0047】また、常温で微粒子状でなくても、低温状態で固化させこれを微粒子状としても良い。例えば、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)やクリプトン(Kr)は常温で気体であるが、CO<sub>2</sub>の場合には-209°C以下で固化し、Krの場合には-156.6°C以下で固化する。このように低温で固化した物質を粉碎して微粒子状にした標的物質を用いても良い。

#### 【0048】

【実施例2】減圧された容器200内の標的物質205にパルスレーザー光201を集光して該標的物質205をプラズマ化し、該プラズマ209より輻射されるX線を利用する本実施例のX線発生装置(図2参照)では、標的物質205の形態を微粒子状とし、その標的物質205を遠心力により開口から噴出させ、噴出した標的物質にパルスレーザー光201を集光している。

【0049】本実施例では、標的物質としてB<sub>4</sub>Cの微粒子を用いており、微粒子の平均粒径は約0.1μmである。なお、装置構成は実施例1とほぼ同様であるので、異なる部分のみ詳しく説明する。標的溜まり204の中に蓄積されているB<sub>4</sub>Cの微粒子205はノズル206から円盤207のほぼ中心部分に向けて落下する。円盤207の断面構造は図4(a)の様になっており、円盤207の側面の円周上には直径100μmの二つの開口が開けられている。また、円盤207はモーター208の駆動により高速に回転している。

【0050】円盤207に落下したB<sub>4</sub>Cの微粒子205は、円盤の回転運動により速やかに円周方向に移動して、前記開口から噴出される。そして、円盤207の回転と同期してレーザー光201が丁度円盤の開口から噴出されたB<sub>4</sub>Cの微粒子205に照射されるように制御されており、レーザー光照射によりB<sub>4</sub>Cの微粒子205がプラズマ化してX線が輻射される。

【0051】ここで、円盤207の開口から放出(噴出)されたB<sub>4</sub>Cの微粒子205が容器200内に散乱しないように、円盤207の周辺をカバー213により覆い、放出されたB<sub>4</sub>Cの微粒子を回収している。カバー213には、標的溜まり204からのB<sub>4</sub>C微粒子を導入する穴と、レーザー光を導入する穴と、X線を取り出す一つ以上の穴がそれぞれ設けられ、さらに底面には、回収されたB<sub>4</sub>C微粒子を容器210に流入させるための穴が設けられている。

【0052】容器210に集められたB<sub>4</sub>C微粒子は、実施例1のようにベルトコンベヤー212により運搬されて、標的溜まり204に戻される。このため、標的物質を容器外部から供給することなしに半永久的に使用することができる。円盤207から放出された微粒子は、実施例1における自由落下に比べて速度が速いので、プラ

ズマから放出される飛散粒子は慣性力により、その飛翔方向を微粒子の放出方向に変えられる。

【0053】従って、レーザー光集光レンズ等の光学素子やX線光学素子を微粒子流の横方向の位置または反対側の位置に配置すれば、これら光学素子上へ付着する飛散粒子量を低減することができる。本実施例では、微粒子を遠心力により放出させる手段として円盤を用いたが、回転する物体であればどのような形状のものでも良い。例えば、棒状の物体を回転させて、その先端から微粒子を放出させても良い。

【0054】また、B<sub>4</sub>C微粒子205が微粒子表面に付着した吸着水等により、標的溜まり204や円盤207内で互いにくつき合って固まりとなる場合には、標的溜まり内でB<sub>4</sub>C微粒子205を攪拌したり、標的溜まり204や円盤207をヒーターなどにより加熱して、微粒子表面の吸着水を蒸発させて固まりとならないようすればよい。

【0055】本実施例では標的物質としてB<sub>4</sub>Cを用いているが、これに限らずどのような物質であっても良く、複数の微粒子状物質を混合した標的物質であっても良い。また、常温で微粒子状でなくても、低温状態で固化させこれを微粒子状としても良い。例えば、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)やクリプトン(Kr)は常温で気体であるが、CO<sub>2</sub>の場合には-209°C以下で固化し、Krの場合には-156.6°C以下で固化する。このように低温で固化した物質を粉碎して微粒子状にした標的物質を用いても良い。

【0056】実施例1、2では標的物質を循環させるためのベルトコンベヤーを真空容器内に設置していたが、これは真空容器の外に配置しても良い。また、実施例1、2では標的物質の循環手段としてベルトコンベヤーを用いているが、これに限らず他の循環手段を用いても良い。例えば、ガス流を形成してこのガスの流れに微粒子状の標的物質をのせて標的溜まりまで搬送しても良い。

【0057】実施例1、2では微粒子状の標的物質を用いたが、これは液体状の標的物質でも良い。例えば、水(H<sub>2</sub>O)やアルコール、オイル(拡散ポンプ用のオイルなど)であってもよい。また、標的物質は必ずしも常温において液体状である必要はない。加熱や冷却することにより液体状として、これを開口から自由落下させたり遠心力で噴出させても良い。

【0058】例えば、錫(Sn)を231.97°C以上に加熱して液体状とし、これを用いても良い。或いは、クリプトン(Kr)を-156.6°C~-153.4°Cに冷却して液体状とし、これを用いても良い。実施例1、2では1種類の標的物質のみを用いたが、複数の物質を混合して用いても良い。この場合には、微粒子状の物質同士を混合しても良いし、液体状の物質同士を混合しても良いし、液体状の物質中に微粒子状の標的物質を混ぜ込んで混濁液として用いても良い。

【0059】実施例1、2にかかるX線発生装置によれば、標的物質を連続供給できるので従来よりも運転効率が高い。また、実施例1、2にかかるX線発生装置によれば、従来よりも多種類の標的物質が使用できるので、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させることができ、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がる（目的に適したX線スペクトル分布が得られる）。

【0060】さらに、実施例1、2にかかるX線発生装置によれば、従来よりも光学素子に向かう飛散粒子を低減させて、飛散粒子による光学素子の特性劣化や損傷を抑制または防止することができる。

#### 【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置によれば、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させることができ、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がるので、目的に適したX線スペクトル分布が得られる。

【0062】また、標的物質を微粒子状または液体状とした本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置においては、簡単な構成により容易に標的物質を連続供給することができる。本発明（請求項2）にかかるX線発生装置においては、微粒子状または液体状の標的物質を遠心力により開口から噴出させているので、自由落下のときよりも速い速度で標的物質を連続供給することができる。

【0063】本発明にかかる標的物質としては、微粒子状または液体状の単一物質のみならず、二種類以上の物質が混合されたもの（微粒子状または液体状）も使用可能である（請求項3）。即ち、本発明にかかる標的物質は、標的物質が微粒子状または液体状であるため、容易に複数の物質（微粒子状または液体状）を混合させて標的物質を構成することができ、かかる標的物質にレーザー光を照射することにより、所望の（目的に適した）X線スペクトル分布を有するX線を輻射させることができる。

【0064】本発明にかかるX線発生装置では、開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収し、再使用することが好ましい（請求項4）。例えば、開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収して再び標的溜まり301、401に戻すことにより、半永久的に標的物質を供給し続けることが可能となり、装置のランニングコストを低減することができる。

【0065】本発明（請求項1～5）においては、重力や遠心力をを利用して標的物質を送出（供給）しているので、標的物質以外の物質による影響を受けない。本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、標的物質を連続供給できるので従来よりも運転効率が高い。また、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項

5）では、従来よりも多種類の標的物質が使用できるので、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させて利用することができる、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がる（目的に適したスペクトル分布のX線が使用できる）。

【0066】さらに、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、従来よりも光学素子に向かう飛散粒子を低減させて、飛散粒子による光学素子の特性劣化や損傷を抑制または防止することができる。本発明によれば、連続的に標的物質を供給できるので、X線源の動作を止めることなく長時間使用できる。

【0067】また、標的物質を回収して再使用するので、標的物質にかかるコストを低減できる。また、テープ状やワイヤー状に加工できない物質をも標的物質として使用することができる、装置に使用するX線の波長領域やスペクトル形状の選択の範囲を広げることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】は実施例1のX線発生装置を示す概略構成図である。

【図2】は実施例2のX線発生装置を示す概略構成図である。

【図3】は本発明にかかる、自然落下を利用した標的物質の連続的な供給方法を示す概念図である。

【図4】は本発明にかかる、遠心力を利用した標的物質の連続的な供給方法を示す概念図である。

#### 【主要部分の符号の説明】

- 100、200…真空容器
- 101、201…レーザー光
- 102、202…レンズ
- 103、203…窓
- 104、204…標的溜まり
- 105、205…微粒子状の標的物質
- 106、206…ノズル
- 107…ピエゾ振動子
- 207…円盤
- 108…パイプ
- 208…モーター
- 109、209…プラズマ
- 110…標的回収容器
- 210…容器
- 111、211…扉
- 112、212…ベルトコンベヤー
- 213…カバー
- 301…標的溜まり
- 302…ノズル
- 303…粒子状の標的物質
- 304…レーザー光
- 305…プラズマ

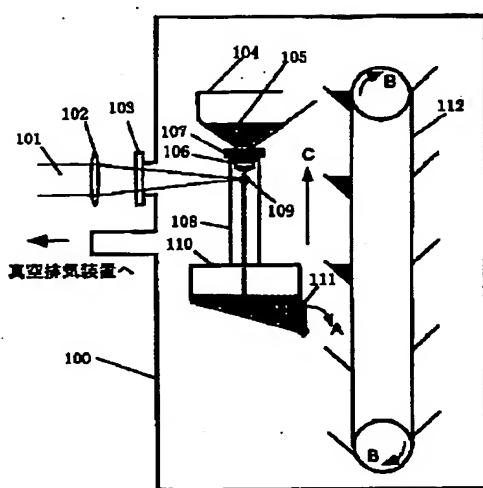
401…標的溜まり

402…粒子状の標的物質

403…円盤

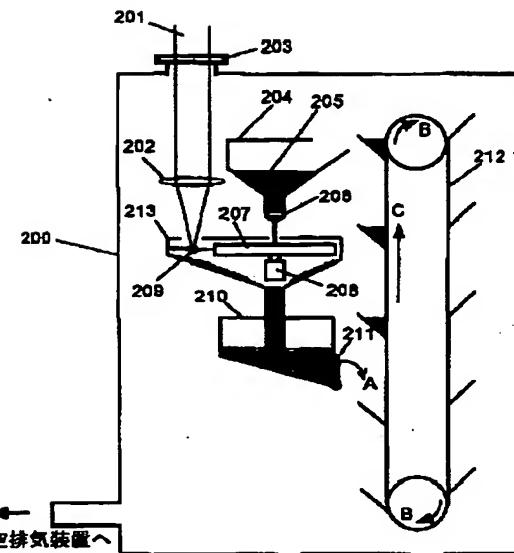
以上

【図1】

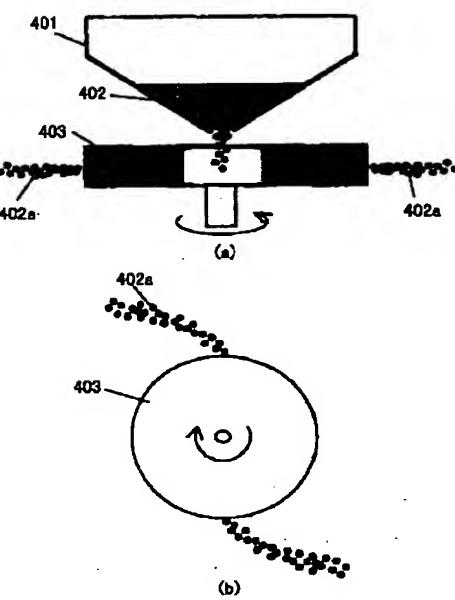
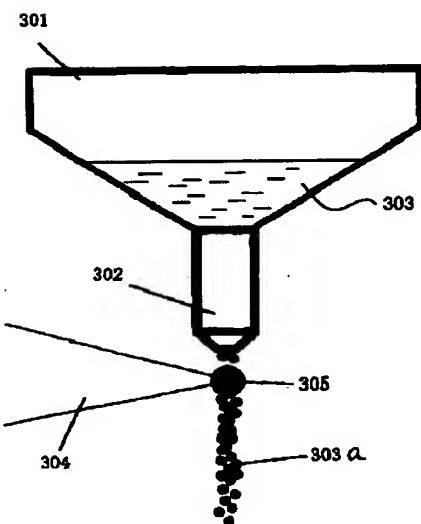


【図3】

【図2】



【図4】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**